

土壤含水量对土壤导电性能的影响

张 道 明

(中国科学院南京土壤研究所)

在土壤体系中,由于土壤颗粒带有电荷,并吸附有一定数量的反号离子,所以可把土壤视为一种多价的电解质。事实上在一般土壤溶液中都有或多或少电解质存在,因此土壤体系在外加电场的作用下也会发生导电现象^[1]。土壤导电性能主要决定于土壤中带电质点的数量,也受某些物理性质的影响,其中土壤含水量就是一个重要的影响因素。

土壤含水量是一个易变的土壤物理因素,它的波动会引起一系列土壤物理化学性质的变化如导致离子活度、土壤电阻率和土壤几何因素的变化。土壤含水量也是影响土壤中金属腐蚀的一个重要因素^[2]。因此研究土壤含水量对导电性能的影响是一项有意义的工作。

土壤含水量对电导的影响,前人做了不少工作。如 Gupta(1972)研究了两种土壤在不同水分条件下与电导的相关性^[3]; Rhoades(1976和1981)研究了水分等因素对土壤电导的影响,在论及土壤电导与水饱和土壤电导的关系时指出,在一定范围内,土壤含水量增加土壤电导也相应增加^[4, 5], Smith(1981)在评述土壤与地下管道腐蚀的关系时,论述了土壤水分在土壤腐蚀过程中的作用^[6]。

本工作是用两极电导池测定和研究了滨海盐土、内陆盐土、苏打盐土和几种非盐土的导电性能与含水量的关系。

一、原理与方法

(一)原理 国内外不少学者认为土壤表观电导(EC_a)简称土壤电导是由两部分组成:一为土壤液相表观电导(EC_b),另一部分为土壤表面表观电导(EC_s)。前者主要是由土壤溶液中的离子所产生的电导,后者为土壤固相颗粒表面上的离子,主要是土壤固体表面的交换性阳离子产生的电导。如果以 R_a 、 R_s 、 R_b 分别表示土壤表观电阻,固相电阻和液相电阻,则根据 Hummel 原理可将它们的关系用下式表示:

$$\frac{1}{R_a} = \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_s} \dots\dots\dots(1) \quad \text{即 } EC_a = EC_b + EC_s \dots\dots\dots(2)$$

上式中 EC_b 为土壤液相表观电导率,它除了是土壤溶液的电导率的函数以外,还与土壤含水量和土壤几何因素有关。如果土壤溶液的实际电导率用 EC_w 表示,则

$$EC_b = EC_w \cdot \theta \cdot T \dots\dots\dots(3)$$

式中: θ 为土壤含水量(以体积百分数表示);

T 为传导系数($T = a\theta + b$, T 与含水量 θ 呈直线关系, a 和 b 为一经验常数)。

将(3)式代入(2)式,则 $EC_a = EC_w \cdot \theta \cdot T + EC_s \dots\dots\dots(4)$

从上式可以看出土壤含水量对土壤电导是有影响的,而且是多途径的。如 EC_w 不变时,含水量不同会引起 EC_a 的变化,含水量还可通过改变传导系数影响 EC_a 值。

(二)方法

1. 电极和仪器

(1) 电导电极：为了在田间约测土壤的可溶性盐，于天仁等曾设计各种形式的电导电极^[1]。本试验所用的锥形电导电极为由两个相同面积的不锈钢环平行的封接在有机玻璃支杆上，其构造如图 1 所示。其中 a 为野外使用的锥形电极（长为 11 厘米，直径为 1.1 厘米），b 为实验室使用的电极（长为 8 厘米，直径为 0.7 厘米）。

(2) 仪器：室内用 DDS-11 型或 DDS-11A 型电导仪（上海第二分析仪器厂生产）。

2. 数据整理

(1) 温度校正：电导仪测得的数据是在土壤自然温度下测得的，必须校正到 25℃ 时的数值。

(2) 电导池常数的测定：用不同浓度溶液测得的电导池“常数”往往不是常数。我们设计的电极电导池常数比市售的电导池常数变化要大，表 1 为不同氯化钾浓度下的电导池常数。因此为了避免由于电导池常数不一致所引起的误差，在测量电导池常数时最好选用一个适当浓度的 KCl 溶液，使其电导值与介质的电导大致相近或根据标准 KCl 溶液的电导池常数来推算该电导值的电导池常数。

(3) 求电导率：用经过温度校正的电导值乘电导池常数即为电导率（即比电导）。

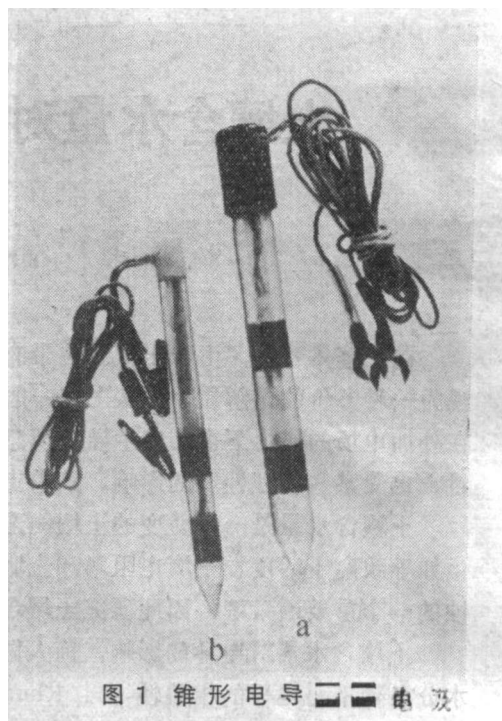


图 1 锥形电导电极

表 1 锥形电导电极的电导池常数

KCl 浓度	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
电导池常数	0.29	0.32	0.47	0.98	1.84

二、试验结果

对几种类型土壤进行的试验表明，土壤含水量是影响导电性能的一个重要因素。这可以从以下的结果中看出。

(一) 滨海盐土含水量与电导的关系

用滨海盐土（江苏盐城），加水拌匀，使含水量为 10%。将该土放在塑料皿中，周围插入几个玻璃管，从其中加入适量的水分，使之达到一定的含水量。密闭平衡数日后，用自制的电导电极测定，重复五次取平均值。图 2 为在含盐量为 1% 时，土壤含水量与电导的关系。从图中可见，该土含水量在 10—40% 范围内，土壤含水量与电导率（对数）呈正相关。其关系式为：

$$\log K = -5.4 + 52.92 \theta \quad \text{相关系数 } r \text{ 为 } 0.96$$

在上述水分范围内，土壤电导率，(K_{2P}) 与水饱和的土壤电导率 $K_{(SE)}$ 之比呈线性关系。

$$K_{2P}/K_{(SE)} = 0.112 + 0.307 \theta \quad r = 0.96$$

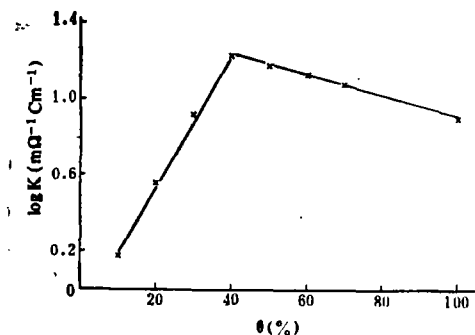


图 2 滨海盐土的含水量与电导的关系

在同样水分范围内, 土壤电导率(K_{2P})与水: 土为 5:1 时的电导率 $K_{(5:1)}$ 之比也呈线性关系, 其关系式如下:

$$K_{2P}/K_{(5:1)} = 0.114 + 0.118 \theta \quad r = 0.96$$

可见, 在含盐量较高的土壤中含水量在一定范围内与土壤电导率呈正相关, 但当水分超过一定程度如该土含水量大于 40% 时, 因稀释效应使电导降低。但是, 随含水量增加而降低的电导值幅度较小(图 2)。

含水量在一定范围内, 电导率与含水量呈正相关在重盐土中更为明显。供试样为江苏盐城滨海盐土, 含盐量 2.5% 左右。其土壤水分含量分别为 10%, 12.5%, 15%, 17.5% 和 20%。各处理土壤容重基本一致。结果绘于图 3。

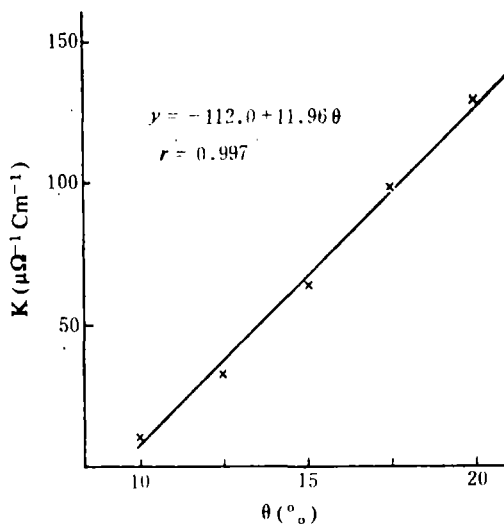


图3 重盐土的含水量与电导的关系

由图 3 可见, 盐渍化土壤中液相电导相对于固相表面电导要大得多。水分在饱和含水量以下, 含水量与土壤电导率基本呈正相关, 即随着含水量增加电导也增加。

(二) 内陆盐土(克拉玛依油田)、苏打盐土(大庆油田)和滨海盐土(胜利油田)的土壤含水量与导电性能的关系

三大油田的试验样品加水拌匀筛过, 使各处理体积相近, 其容重基本一致。含水量为 5%、7.5%、10%、12.5% 和 15% 数个处理。土壤放在有盖的器皿中, 加盖平衡数日以后测定。图 4 为用含水量与电导率的对数作图。由图 4 可见:

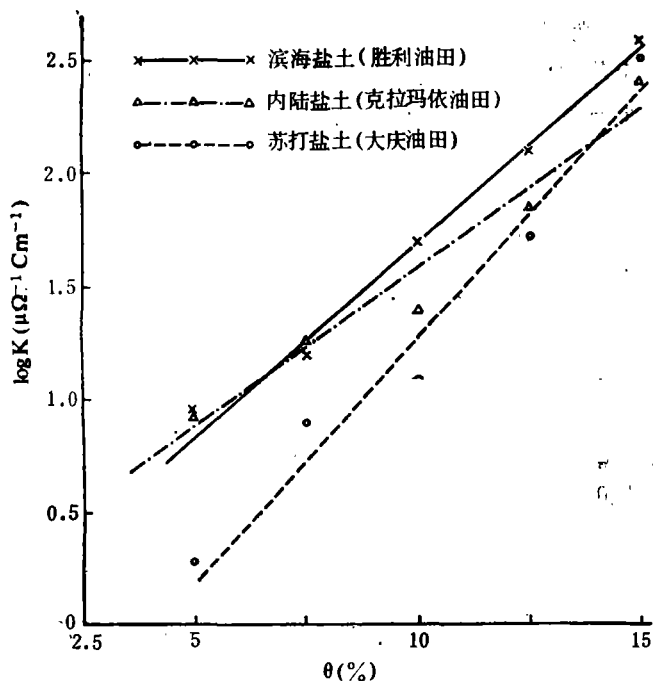


图 4 三大油田土壤含水量与电导的关系

胜利油田的滨海盐土含水量与电导率(对数)的关系为:

$$\log K = 0.016 + 16.76 \theta \quad r = 0.99$$

新疆克拉玛依油田的内陆盐土其关系为:

$$\log K = 0.128 + 14.40 \theta \quad r = 0.98$$

大庆油田的苏打盐土的关系式为:

$$\log K = -0.84 + 21.28 \theta \quad r = 0.98$$

由图可见, 我们从三大油田采集的几种盐渍化土壤的电导率(对数)与含水量呈直线相关(含水量在 5—15%)。相关系数均在 0.98 以上。

(三) 几种非盐土的含水量与电导的关系

供试土壤为广州花岗岩发育的红壤; 江西第四纪红色粘土发育的红壤; 江苏盐城低盐土和南京的黄棕壤。从图 5 可见, 在含水量很低

的强淋溶性土壤的电导值均很小。两种红壤水分10%时电导率仅为 $0.5\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 以下，水分含量为20%时电导率为 $5\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 左右。这种土壤可溶性盐很少，固相表面电导占的比例较大。因此含水量对导电性能的影响较小。其他两种为中淋溶性土壤，其电导值比两种红壤要大。从表2可见，在同样水份条件下盐渍土的电导性能比非盐土大两个数量级。金属构件在盐渍化土壤中腐蚀性较强，导电性能也是一个重要的影响因素。

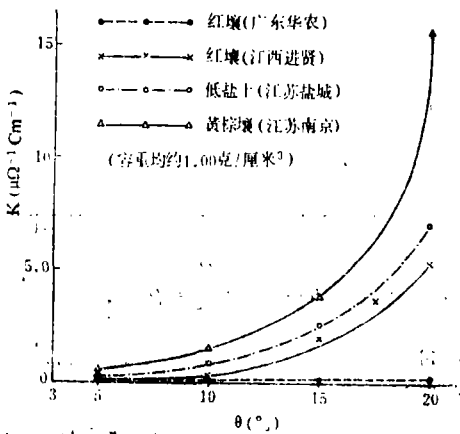


图5 几种非盐土的含水量与电导的关系

表2 几种土壤的电导率*

供 试 样	电导率 $\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$
红 壤(广州)	0.20
红 壤(江西)	2.10
低 盐 土(盐城)	2.72
黄 棕 壤(南京)	3.69
滨海盐土(盐城)	64.0
滨海盐土(东营)	380.0
内陆盐土(新疆)	267.0
苏打盐土(大庆)	320.0

* 含水量15%；容重约为1.0克/厘米³。

三、讨 论

(一)土壤中的离子在电场下的迁移除受带电的胶粒的影响以外，其迁移路程与溶液中者不同。例如当土壤的含水量较低时，空隙中既有水分又有空气，离子迁移时的导电体积较小^[7]，所以电导较低(表3)。含水量在一定范围内，土壤导电性能随含水量的递增而升高。盐渍化土壤增加的幅度大，强淋溶性的土壤上升的幅度较小。当水分进一步增加由于稀释效应，电导反而有所降低。

(二)土壤腐蚀性等级划分标准中，土壤含水量是一个重要因素。土壤含水量较小时，腐蚀性弱。在本试验中可以证实，土壤含水量少土壤导电性能较差，金属在土壤中形成宏腐蚀电池时，由于介质电阻大，腐蚀电流小，因此，土壤含水量较小时对金属的腐蚀性弱。

土壤含水量15%左右时，土壤腐蚀性较强。从表2可见土壤电导率是土壤含水量5%时(表3)的几倍到数百倍。尤其是盐渍化土壤增加的幅度更大。如苏打盐土增加170倍，内陆盐土和滨海盐土增加30—40倍。可见盐渍化土壤含水量在15%左右时，土壤对金属的腐蚀性是很强的。

表3 土壤含水量较低时的电导率*

供 试 样	电导率 $\mu\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$
红 壤(广州)	0.09
非 盐 土(盐城)	0.27
黄 棕 壤(南京)	0.37
苏打盐土(大庆)	1.81
内陆盐土(新疆)	8.70
滨海盐土(东营)	8.85

* 含水量5%，容重约为1.0克/厘米³。

(下转第22页)

好的滩地单产一般为400~500斤,高者600~700斤,少数可达千斤;差的滩地也能维持200~300斤。一亩滩地的产量相当于几亩坡地,因此阴山丘陵区加强滩地建设,是当地发展农牧业生产的关键。只有建设滩地,增加旱涝保收田才有可能在保证总产的情况下,压缩旱坡耕地的面积,做到坡梁退耕还牧种树种草,改变广种薄收,粗放耕种的掠夺式经营方式,逐步实现农牧林结合,恢复生态平衡,从根本上改变生产面貌。

经试验,滩地合理施用化肥有明显增产效果。在目前生产水平,肥力较高的滩地一般早期施用磷肥增产效果显著。按每亩10~15斤三料过磷酸钙(总 P_2O_5 47%、摩洛哥产)用量,做种肥施用,每斤三料过磷酸钙(P_2O_5 47%)可增产粮食4~6斤。氮磷肥配合施用,增产效果更好,配合比例因土壤与作物而异,肥力较高滩地(氮素供应力较强)以磷为主,氮磷配合;中肥滩地应氮磷并重;低肥滩地以氮为主,氮磷配合施用,配合比例多数在1:0.5(N: P_2O_5),一般以1:1为宜。氮磷复合肥是当地比较适宜的化肥品种。有促进前期生长,做种肥伤苗轻,增产显著等优点。每斤化肥也能增产粮食4~6斤。施用氮素化肥应掌握施用期及施用量,碳铵结合秋翻做基肥施用,尿素做种肥及结合分蘖水追肥,增产均十分显著,但种肥用量不宜超过10斤/亩。除施用化肥外,针对滩地冷阴、下湿、盐碱危害、杂草较多等特点,采用相应措施,也有增产的效果。

坡梁地完全依赖天然降雨,各年分的降水多少不均。主要措施是抗旱保墒和防止水土流失,此外,增加土壤有机质,培肥地力,逐步推行草粮轮作的农牧林结合形式。施用化肥也能增产,多数应以氮为主,配合施用磷肥,但增产效果主要看作物生育期土壤水分含量状况,一般土层稍厚(50厘米以上),土壤水分含量在6~8%以上,增产较有保证。据田间试验在风调雨顺的年景,按每亩8斤尿素做种肥,每斤尿素可增产麦类作物4~5斤。而在干旱年份,同样地块施用同量尿素,往往增产效果较差或不增产。所以阴山丘陵旱作区加强滩地建设,是当地发展农业生产的关键,也只有把滩地建设好,农牧林业的结合,才能得到充分保证。

(上接第18页)

参 考 文 献

- [1] 于天仁等,电化学方法及其在土壤研究中的应用, 510-565页, 科学出版社, 1980.
- [2] 吴均, 土壤腐蚀性及其评价的研究概况. 土壤学通报, 4:1-10, 1981.
- [3] Gupta, S. C., et al., Soil sci. Soc. Amer. Proc., 36: 855-857, 1972.
- [4] Rhoades, J. D., et al., Soil sci. Soc. Amer. Proc., 40: 651-655, 1976.
- [5] Rhoades, J. D., Soil sci. Soc. Amer. J., 45: 42-46, 1981.
- [6] Smith, C. A. et al., Anti-corrosion., 28: 4-8, 1981.
- [7] 于天仁等, 水稻土物理化学, 207-233页, 科学出版社, 1983.